

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-016268

(43)Date of publication of application : 17.01.1997

(51)Int.Cl.

G05D 7/06
G05B 11/36

(21)Application number : 07-188033

(71)Applicant : TAKAHASHI HISASHI
CKD CORP

(22)Date of filing : 29.06.1995

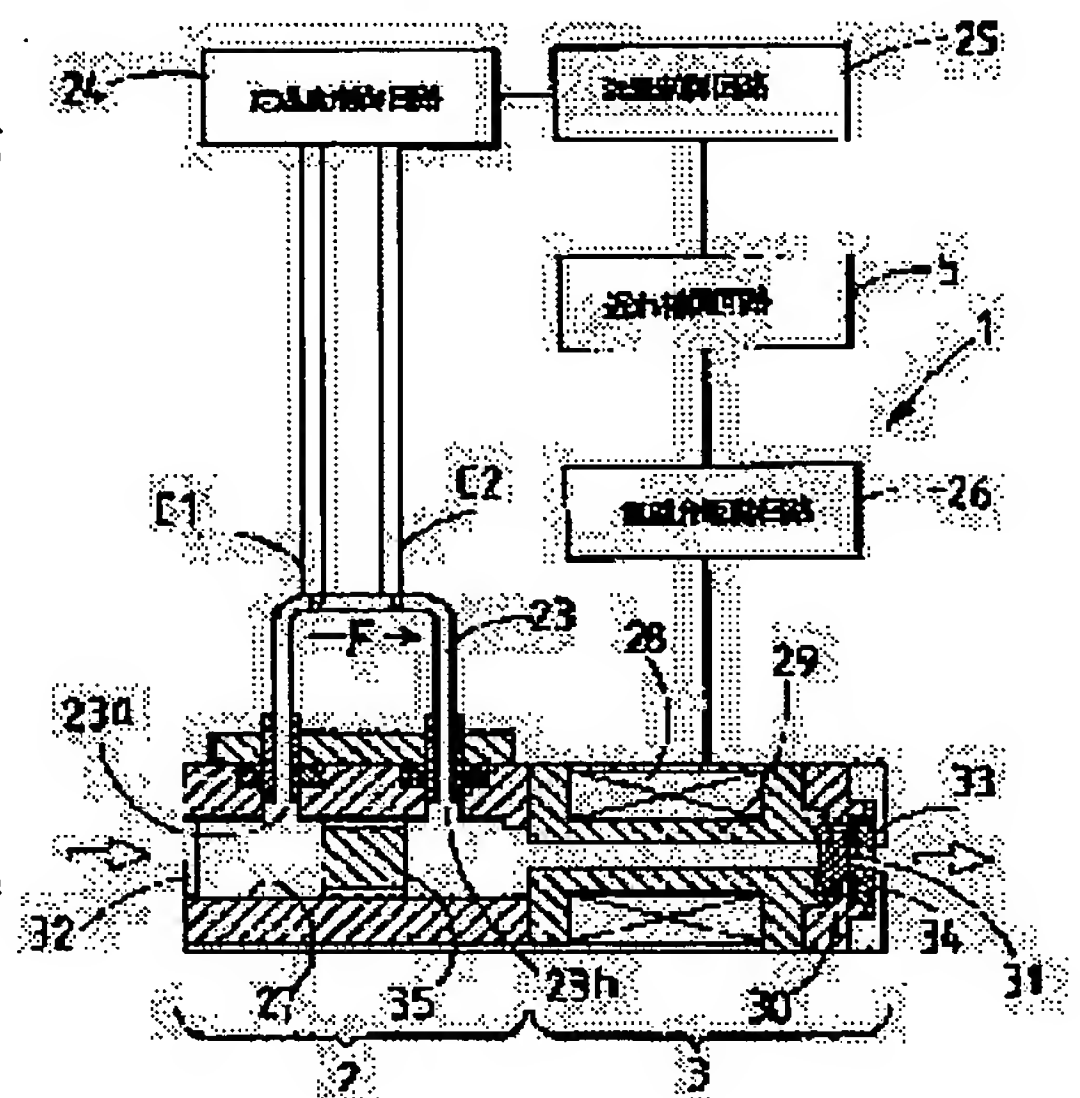
(72)Inventor : TAKAHASHI HISASHI
KOKETSU MASAYUKI
NITTA SHINICHI

(54) FLOW RATE CONTROL VALVE WITH DELAY COMPENSATING FUNCTION

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide a flow rate control valve with the delay compensating function which becomes stable in flow rate in a short time after gas is started to supply by providing a delay compensating circuit.

CONSTITUTION: When the gas is started to supply by opening a cutoff valve, a gas flow rate is outputted from the flow meter part 2 of the flow rate control valve 1 with the delay compensating function. This output value includes time delay against variation in actual flow rate of the gas. For the purpose, the delay compensating circuit 5 compensates the delay to generate a signal having the time delay canceled. On the basis of the signal, the solenoid valve part 3 of the flow rate control valve 1 with the delay compensating function is controlled to adjust the flow rate. Consequently, the flow rate becomes stable in a short time after the gas is started to supply, so a response stabilization wait time can greatly be shortened and the outflow of unnecessary gas is reducible.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

31.08.1995

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

2802246

[Date of registration]

10.07.1998

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(11)特許出願公開番号

特開平9-16268

(43)公開日 平成9年(1997)1月17日

(51)Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 5 D 7/06			G 0 5 D 7/06	Z
G 0 5 B 11/36	5 0 1	0360-3H	G 0 5 B 11/36	5 0 1 L

審査請求 有 請求項の数 3 FD (全 13 頁)

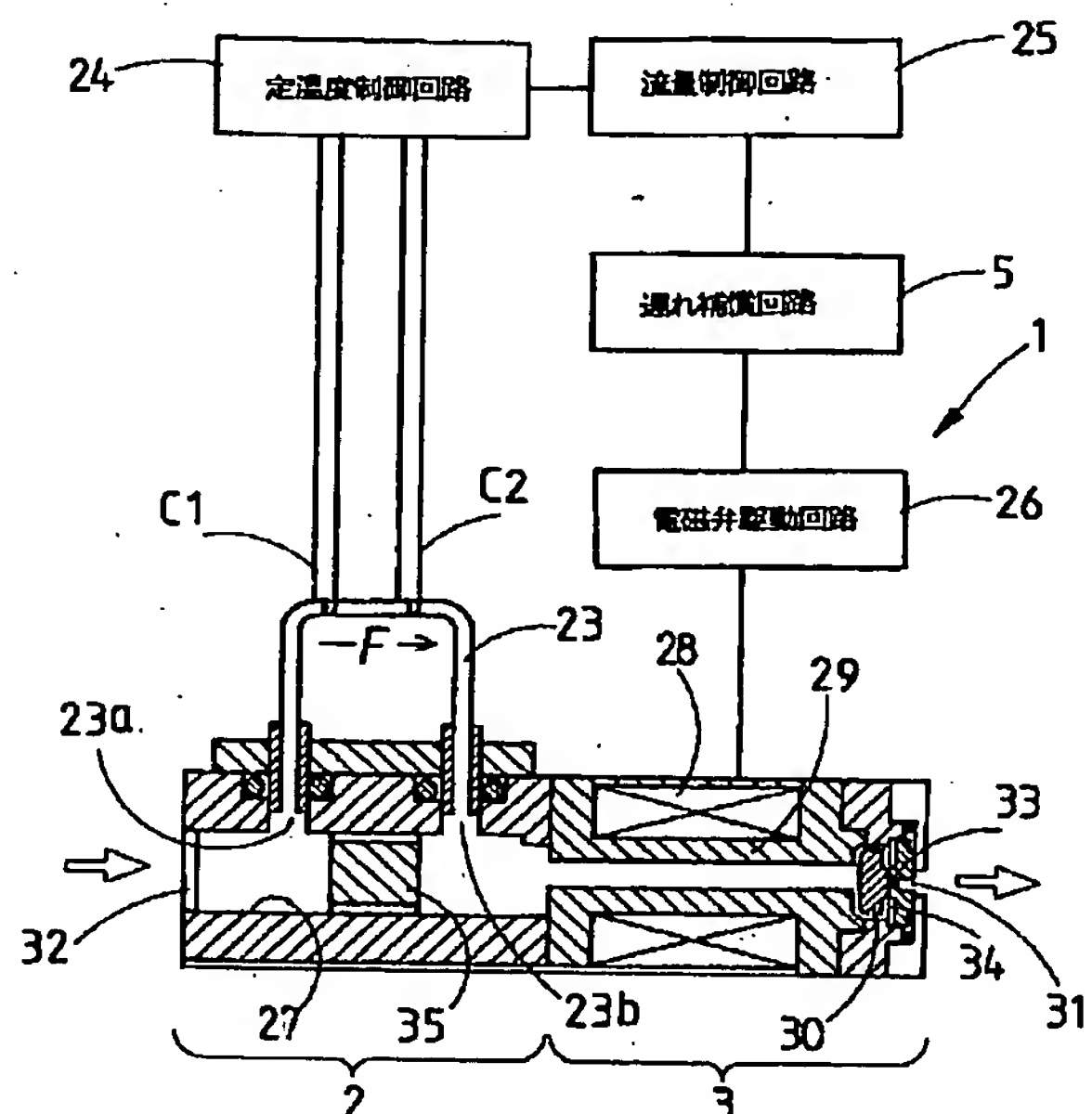
(21)出願番号	特願平7-188033	(71)出願人	595106947 高橋 久 神奈川県相模原市上鶴間2647番地の1 ラ イオンズガーデン町田604
(22)出願日	平成7年(1995)6月29日	(71)出願人	000106760 シーケーディ株式会社 愛知県小牧市大字北外山字早崎3005番地
		(72)発明者	高橋 久 神奈川県相模原市上鶴間2647番地の1 ラ イオンズガーデン町田604
		(74)代理人	弁理士 富澤 孝 (外2名)

(54) 【発明の名称】 遅れ補償機能付流量制御弁

(57) 【要約】

【目的】 遅れ補償回路を備えることにより、ガス供給開始後短時間に流量が安定する、遅れ補償機能付流量制御弁を提供する。

【構成】 遮断弁を開いてガスの供給を開始すると、遅れ補償機能付流量制御弁1の流量計部2からガス流量が出力される。かかる出力値は、ガスの実流量の変化に対して時間遅れを含んでいる。そこで、遅れ補償回路5がこれを補償し、時間遅れのキャンセルした信号を発生する。これに基づき遅れ補償機能付流量制御弁1の電磁弁部3が制御され流量の調整がなされる。これにより、ガス供給開始後短時間で流量が安定するので、応答安定待ち時間を大幅に短縮でき、ガスの無駄な流出も減少させることができる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 気体の流量を調整する流量調整手段と、その気体の実流量を測定する流量計とを有し、その流量計の出力値により流量調整手段を制御する流量制御弁において、前記流量計の出力値変化の時間遅れを補償する遅れ補償手段を備えることを特徴とする遅れ補償機能付流量制御弁。

【請求項2】 前記遅れ補償手段が、時定数の異なる複数の1次遅れ関数を併用して前記流量計の出力値変化の時間遅れを補償することを特徴とする請求項1に記載の遅れ補償機能付流量制御弁。

【請求項3】 前記遅れ補償手段が、1つの1次遅れ関数により前記流量計の出力値変化の時間遅れを補償することを特徴とする請求項1に記載の遅れ補償機能付流量制御弁。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、半導体集積回路製造設備中のガス供給装置に使用する流量制御弁に関し、さらに詳細にはガス供給開始時の流量計の応答遅れを補償して、供給ガスの無駄を排除できる遅れ補償機能付流量制御弁に関するものである。

【0002】

【従来の技術】半導体集積回路の製造は、微細加工工程と成膜工程とを繰り返すことにより、半導体基板（以下、「ウェハ」という）上に微細回路を形成することにより行われる。かかる半導体製造の諸工程を行う装置には、特殊ガスを使用する装置が多い。例えば、微細加工装置のうちの乾式エッチング装置では、塩素系等の腐食性ガスを使用する。あるいは、成膜工程のうち層間絶縁膜やゲート電極の形成を行う化学蒸着気相成膜（以下、「CVD」という）装置では、膜成分供給源としてシラン（ SiH_4 ）、ホスフィン（ PH_3 ）、ジボラン（ B_2H_6 ）等の特殊材料ガスを使用する。以下、これらの装置を総称してガス使用装置という。

【0003】これらガス使用装置においては、所定の処理を施すための槽内にウェハを載置し、所定のガスを所定流量流しながら必要に応じて加熱やプラズマ印加等を行うようになっている。ここで、処理槽へのガスの供給にあたっては図20に示すように、ガスを供給するガス源70と処理槽74との間にフィルタ71、圧力調整弁72、圧力センサ73、流量コントローラ75を配設する。流量コントローラ75は流量センサを内蔵している。そして、圧力センサ73の前段及び流量コントローラ75の前後に遮断弁76、77、78を配置する。かかるガスラインにおいて、流量コントローラ75で内蔵する流量センサの出力値をフィードバックすることにより、一定流量のガスを安定供給できるようになっている。かかるシステムにより、処理槽への供給ガスの圧力

や流量の設定や、供給の停止ができるようになっている。

【0004】しかしガス使用装置においては、1種類のガスのみを使用することは稀で、2種類以上のガスを同時に使用するのが普通である。例えばプラズマCVD装置で酸化珪素膜を形成する場合は、珪素源としてのシランの他、酸素源としての一酸化二窒素 N_2O ガスと、反応促進と不要な酸化阻止のための水素 H_2 ガスと、希釈用の窒素 N_2 ガスとを同時に使用する。したがって図20のようなガス供給システムも、使用するガスの種類数に応じてそれぞれ必要となる。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、前記した流量センサおよび流量コントローラには、以下の問題点があった。すなわち、ガス流量を検出する流量センサは、測定する流量の変化に対して必ずしも応答性が優れているとは限らない。したがって、ガス供給を開始する際、ガスが流れ始めてから流量センサが実際に一定の流量値を出力するまでには、若干の遅れがある。

【0006】このため、かかる出力値のフィードバックを受ける流量コントローラ75の制御回路は、ガス供給開始直後においては、実流量より低い流量値を認識するので、これを補おうとして流量コントローラ75の許容流量を過剰に増大させることになる。このためガスの実流量は、図21に見るよう一旦オーバーシュートしてから所定の流量に落ち着くこととなる。

【0007】したがって、ガス供給を開始するために遮断弁76等を開いてから、実際に設定流量のガスが安定して流れるまでには、かなりの遅れがある。この時間遅れの間に流れるガスは設定流量と異なるので、これをガス使用装置に送り込んでプロセスを実行すると、膜厚、膜質、エッチレート等のプロセス特性の異常をきたす。これを避けるためガス流量が安定してからプロセスを行うので、この時間遅れの間のガスはプロセスに使用されることなく、そのまま無駄に流れてしまうことになる。

【0008】しかも、かかる遅れ特性は供給しようとするガスの種類により異なり、さらに、流量センサ自体の個体差もある。したがって、複数のガスを供給する場合には、図10に示すように各ガス供給系のうち最も遅れが大きいガスdが安定するまでの間は、他のガスも無駄に流さざるをえないのである。図10は、遮断弁76等を開いた後の、各ガスの流量センサ出力値の経時変化を示すグラフである。ここでは、ガスdの流量が安定するまで4秒程度かかっている。

【0009】ここでウェハの処理の態様により、ガス使用装置を2種類に大別することができる。1つは、処理槽を大きく形成して、槽内に50枚程度のウェハを同時に載置して処理を行う、いわゆるバッチ式処理といわれるもので、減圧CVD装置等がこれに該当する。もう1つは、槽内に1枚もしくは2枚程度のみウェハを載置

し、処理とウェハ交換とを順次行う、いわゆる枚葉式処理といわれるもので、乾式エッチング装置やプラズマCVD装置等がこれに該当する。

【0010】バッチ式処理が生産性の高さを特徴とするのに対し、枚葉式処理は処理のウェハ間均一性（例えば膜厚等）を特徴とする。そして、近年における回路素子の一層の微細化とともに、膜厚等の均一性がより強く必要とされるに至っていることから、次第に枚葉式処理の占める比重が強まりつつある。かかる枚葉式処理においては、処理一回毎にウェハ交換を行う。ウェハ交換にあたっては、一旦プロセスガスの供給を遮断し、処理槽を窒素ガス等で掃気してから処理槽を開いてウェハの交換を行い、しかる後に再びプロセスガスの供給を開始することになる。プロセスガスの多くは、猛毒性、自然発火性を有し非常に危険であるため、装置外への流出は許されないからである。むろん、この一連の動作は自動化されるのが普通である。

【0011】したがって枚葉式処理の場合、プロセスガスの供給を開始する回数が非常に多くなり、そのたびに、前述のマスフローコントローラの応答遅れ待時間が発生する。このため、時間のロスが大きく生産性向上の障害となっている。また、無駄に流れるガスの量が無視しえないほど多くなってしまふ。このことは、プロセスガスが高価であることから当然にコスト高をもたらす。さらに、使用後の有害なプロセスガスをそのまま環境に放出しないために排気系に設けられている除害装置にも余計な負担をかけることとなる。

【0012】本発明は、上述した問題点を解決するためになされたものであり、流量計の出力値に応じて流量制御を行う流量制御弁において、ガス供給開始時の流量計の応答遅れを補償する遅れ補償手段を備えることにより、無駄な応答安定待ち時間やガス消費なく的確に所定のガスを供給でき、したがって生産性がよくガス排気系にも余計な負担をかけないすぐれた遅れ補償機能付流量制御弁を提供することを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】前記目的を達成するために本発明の遅れ補償機能付流量制御弁（1）は、気体の流量を調整する流量調整手段と、その気体の実流量を測定する流量計とを有し、その流量計の出力値により流量調整手段を制御する流量制御弁であって、前記流量計の出力値変化の時間遅れを補償する遅れ補償手段を備えたものである。

【0014】また、本発明の遅れ補償機能付流量制御弁（2）は、前記遅れ補償手段が、時定数の異なる複数の1次遅れ関数を併用して前記流量計の出力値変化の時間遅れを補償することを特徴とするものである。また、本発明の遅れ補償機能付流量制御弁（3）は、前記遅れ補償手段が、1つの1次遅れ関数により前記流量計の出力値変化の時間遅れを補償することを特徴とするものであ

る。

【0015】

【作用】前記構成を有する本発明の遅れ補償機能付流量制御弁（1）では、ガス定常供給中は、流量計の出力値により流量調整手段が制御され所定の流量を維持している。ガス供給開始時は、流量計の応答性により、流量計出力値の変化が実流量の変化より時間的に遅れるので、遅れ補償手段がこれを補償して、応答遅れをキャンセルした信号を流量調整手段に送る。これにより、ガス供給開始後、早期にガス流量が安定する。

【0016】また、本発明の遅れ補償機能付流量制御弁（2）では、遅れ補償手段が時定数の異なる複数の1次遅れ関数を併用して応答遅れをキャンセルするので、ガス供給開始後、早期にガス流量が立ち上がるとともに、所定値に安定する。また、本発明の遅れ補償機能付流量制御弁（3）では、1つの1次遅れ関数を併用して応答遅れをキャンセルするので、ガス供給開始後、早期にガス流量が立ち上がる。

【0017】

【実施例】以下、本発明の遅れ補償機能付流量制御弁を具体化した実施例を図面を参照して説明する。図1に、第1の実施例に係る遅れ補償機能付流量制御弁1の構成を断面図で示す。遅れ補償機能付流量制御弁1は、左側の流量計部2と右側の電磁弁部3とを有している。

【0018】流量計部2は、主通路27の左側に入力ポート32が開いている。また、主通路27の中央部に内壁と所定の間隔をもって柱状部材35が保持されている。また、柱状部材35の両側の内壁に流入口23aと流出口23bとが開けられ、導管23が付設されている。そして、内部をガスFが流れる導管23の上流側と下流側に感熱コイルC1、C2がUV硬化樹脂等で接着されている。感熱コイルC1、C2は、各々温度係数の大きな一対の自己加熱型測温体を巻き付けて形成したものであり、互いに等しい抵抗値を有している。

【0019】そして感熱コイルC1、C2は定温度制御回路24に接続されている。定温度制御回路24は感熱コイルC1、C2を要素とするブリッジ回路を含んでおり、感熱コイルC1、C2の温度を一定値に制御しつつ、導管23を流れるガスFの流量をブリッジ回路間の電位差より演算するものである。

【0020】電磁弁部3はガス流量の調整を行う部分であり、その中心には、中空円筒状のコイルボビン29の胴部に銅線が巻かれたコイル28がある。また、コイルボビン29の中空部の右側に通孔が形成されている板ばね34が内壁面に固定され移動可能な弁体30が保持されている。また、弁体30の右側に出力ポート33が穿設されている。また、弁体30の対抗する位置に、入力ポート32と出力ポート33とを連通させる弁座31が設けられている。また、コイル28には、電磁弁駆動回路26が接続されている。電磁弁駆動回路26は、遅れ

補償回路5を介して流量制御回路25に接続されており、その流量制御回路25は定温度制御回路24に接続されている。

【0021】次に遅れ補償機能付流量制御弁1の作用を説明する。入力ポート32から出力ポート33に向けてガスFを流すと、ガスFは導管23の内部と主通路27とに分かれて流れ、その流量比は一定となる。一方、感熱コイルC1、C2は、定温度制御回路24により、その温度が常に相等しくかつ一定になるように制御される。このとき、導管23を流れるガスFにより感熱コイルC1からC2に熱が運搬されるので、感熱コイルC1にはより多くの熱を発生させるべくより大きな電圧が印加される。この、感熱コイルC1、C2に印加される電圧の差は、ガスFの流量に比例する。そして定温度制御回路24はその内部のブリッジ回路によりこの電圧差を流量制御回路25に出力する。

【0022】そしてこの電圧差により流量制御回路25が流量を演算する。かかる流量値は、ガスFの実際の流量変化に対して時間遅れを含んでいるので、遅れ補償回路5により時間遅れの補償を受けた上で、必要な流量が得られるように電磁弁駆動回路26に流量指令として伝達される。この遅れ補償作用については後述する。流量指令を受けた電磁弁駆動回路26は、指令された流量が流れるように電磁弁部3の開度を調節する。そして、その流量を所定時間流すと電磁弁部3への通電が遮断され弁が閉じることにより、ガスFの流れを遮断する。これにより、所定の総流量のガスFが送られるものである。

【0023】次に図2に、遅れ補償機能付流量制御弁1を使用するガス供給システムの構成を示す概念図を示す。図2では、ガスを貯蔵するガス源10から、レギュレータ12により適宜減圧されたガスが導管22を経由し、遅れ補償機能付流量制御弁1を通じて処理槽74に供給される。導管22には、レギュレータ12の前段にフィルタ11が、レギュレータ12と遅れ補償機能付流量制御弁1との間に圧力計16が、遅れ補償機能付流量制御弁1の後段にガスの流量を絞るニードル弁15が、それぞれ設けられている。更に、レギュレータ12、圧力計16、ニードル弁15のそれぞれ後段にストップ弁17、18、14が配置されている。このうちストップ弁14については、操作用圧縮空気21により開閉操作がされるようになっており、そのための3方電磁弁20とこの電磁弁20に信号を印加するスイッチ19とが備えられている。

【0024】また、図2のシステムでは、X-Yデコーダ4を設けている。X-Yデコーダ4は、遅れ補償機能付流量制御弁1の流量制御回路25または遅れ補償回路5からの出力をモニタするものであり、通常の使用状況では不要であるが遅れ補償回路5の効果を測定するために特に設けたものである。また、スイッチ19により印加される電気信号は、X-Yデコーダ4にもモニタされ

る。かかるガス供給システムで、ニードル弁15及びX-Yデコーダ4は、遅れ補償機能付流量制御弁1の遅れ補償回路5の効果を測定するために特に追加したものであって、通常のガス供給システムとして使用する場合に必要ではない。

【0025】次に、遅れ補償機能付流量制御弁1における、流量値の遅れ特性および遅れ補償回路5の効果の測定について説明する。遅れ補償機能付流量制御弁1における流量値の遅れ特性を測定するためには、最初にガス供給流量を設定しなければならない。かかるガス供給流量の設定は以下の手順による。

【0026】まず、ストップ弁14が閉じられているのを確認し、ガス源10の元栓を開いてレギュレータ12に元圧を印加する。この測定ではストップ弁17、18は常時開とする。そして、レギュレータ12を所定の圧力(ここでは1kgf/cm²とする)に設定する。ついで、遅れ補償機能付流量制御弁1の電磁弁部3を全開状態に固定する。そして、遮断弁14を開いて、所定の流量(ここでは375sccmとする)が流れるようにニードル弁15を調整する。以上でガス供給流量の設定が終了したので、一旦遮断弁14を閉じる。

【0027】そして、遅れ特性の測定を行う。まず、流量計部2における流量値の純粋遅れ特性を以下の手順で測定する。遅れ補償回路5をスルーさせ、電磁弁部3を全開状態に固定したままとする。そして、遮断弁14を開き、以後の流量制御回路25の出力値をX-Yデコーダ4から出力する。このときの測定値の例を図8のグラフ中カーブaに示す。カーブaでは、流量制御回路25の出力値が所定の流量に落ち着くまで約4秒かかっていることが読み取れる。

【0028】かかる遅れは、流量制御回路25の出力値の実流量に対する応答遅れである。この遅れには1次遅れの要素が大きく含まれていると考えられるので、これを1次遅れ要素とそれ以外の遅れ要素との重畳であるとする。そして、1次遅れ要素をE(s)で表し、それ以外の遅れ要素は伝達関数が解明されないもので以後「解明されていない伝達関数」と呼び、F(s)で表す。そして本実施例は、遅れ要素F(s)の寄与は小さいとして、1次遅れ要素E(s)を補償することにより全体の遅れを補償しようとするものである。なお、1次遅れE(s)は、次式で表される。

$$E(s) = 1 / (1 + s \cdot \tau_1)$$

ここで τ_1 は流量制御回路25の応答の時定数を、sはラプラス演算子と呼ばれる複素関数を示す。

【0029】これを図5の概念図で考えると、入力 $V_i(s)$ に対する出力 $V_o(s)$ がカーブaとして表れている。そこで、遅れ補償回路5をオンすることにより、これを補償して出力 $V_{out}(s)$ とするのである。ここで、遅れ補償回路5による遅れ補償の伝達関数を、

$$G(s) = \{1 + s \cdot (a + \tau_1)\} / (1 + s \cdot \tau_2) \quad (1)$$

とする。ここでさらに、

$$a + \tau_1 = \tau_1 \quad (2)$$

となるように回路を組めば次式が得られる。

$$G(s) = (1 + s \cdot \tau_1) / (1 + s \cdot \tau_2) \quad (3)$$

【0030】従って図5は図6のように表すことができる。さらに、(1)式と(3)式とから、

$$E(s) \cdot G(s) = 1 / (1 + s \cdot \tau_2)$$

であるから、図6を図7のように書き換えることができる。

$$a = 0.9 \cdot \tau_1 \quad (4)$$

とすると、

$$\tau_2 = 0.1 \cdot \tau_1 \quad (5)$$

となり、 τ_2 は τ_1 の10分の1となる。

【0032】次に、遅れ補償回路5の伝達関数 $G(s)$ をブロック線図化する。入力を X 、出力を Y とすれば、

(3)式より次式のように表される。

$$Y = \{(1 + s \cdot \tau_1) / (1 + s \cdot \tau_2)\} \cdot X$$

これを变形して、

$$Y + s \cdot \tau_2 \cdot Y = X + s \cdot \tau_1 \cdot X$$

$$Y = X / (s \cdot \tau_2) - Y / (s \cdot \tau_2) + X \cdot (\tau_1 / \tau_2)$$

$$Y = X + \{(\tau_1 - \tau_2) \cdot X - (Y - X) / s\} / \tau_2$$

となり、これより図4のブロック線図が得られる。

【0033】このブロック線図は、例えば図3のようなアナログ回路として実現される。この回路は、差動入力型オペアンプを3基使用して補償回路5を実現した例である。すなわちオペアンプA1、A2により非反転増幅回路を形成し、オペアンプA3により反転増幅回路を形成したものである。この回路では、入力信号 V_1 をP1点で分岐し一方を抵抗 R_9 を介してオペアンプA1の+入力端子に、他方を抵抗 R_1 及び R_3 を介してオペアンプA2の+入力端子に、それぞれ入力させている。また、抵抗 R_1 と R_3 との間のP3点は抵抗 R_2 を介して接地されている。

【0034】オペアンプA1の出力端子は出力信号 V_1 となるほか、抵抗 R_{11} を介してオペアンプA1の-入力端子に入力される。またオペアンプA1の-入力端※

$$V_2 = 0.9 \cdot V_1$$

となる。また、オペアンプA3の-入力端子の電位 V_5 は、接地にイマジナリショートされているので、

$$V_5 = 0$$

$$I_1 = V_7 / R_7$$

となる。

【0037】また、コンデンサCの電荷 Q については、オペアンプA3の出力端子電位を V_4 として、

$$Q = -V_4 \cdot C$$

$$V_4 = -(1/C) \cdot \int I_1 dt$$

【0038】(8)式に(7)式を代入すると、

$$V_4 = -\{1 / (C \cdot R_7)\} \cdot \int V_7 dt$$

となり、これをラプラス演算子 s を用いて表すと、

※【0031】この結果、流量制御回路25の1次遅れ応答の時定数 τ_1 は、遅れ補償回路5により相殺され、新たな時定数 τ_2 の1次遅れ応答になったことになる。ここで、相殺するための条件は、(2)式であるから、

*10

※子は、抵抗 R_{10} を介して接地されている。オペアンプA2の出力は抵抗 R_8 を介してオペアンプA1の+入力端子に入力されるほか、抵抗 R_6 を介してオペアンプA2の-入力端子に入力される。またオペアンプA2の-入力端子は、抵抗 R_5 を介して接地されている。

【0035】そして、オペアンプA2の出力はP4点で分岐され、抵抗 R_7 を介してオペアンプA3の-入力端子に入力される。オペアンプA3では-入力端子と出力端子とがコンデンサCを介して接続されており、+入力端子は接地されている。オペアンプA3の出力は、抵抗 R_4 を介してオペアンプA2の+入力端子に入力される。この回路において、補償しようとする1次遅れの時定数を $1s$ とすれば、各抵抗器の抵抗値及びコンデンサの容量は、 R_1 、 R_5 が $1k\Omega$ 、 R_2 が $9k\Omega$ 、 R_3 、 R_4 が $47k\Omega$ 、 R_6 が $19k\Omega$ 、 R_7 が $500k\Omega$ 、 R_8 乃至 R_{11} が $10k\Omega$ である。そして、 R_4 と R_6 との間に配設されているコンデンサCの容量は、 $2\mu F$ である。

【0036】次に、図3の回路図の検証を行う。入力電位を V_1 として、まず、P3点の電位 V_2 は、オームの法則より、

$$V_2 = V_1 \cdot \{R_2 / (R_1 + R_2)\}$$

であり、前記より R_1 が $1k\Omega$ 、 R_2 が $9k\Omega$ であるから、

$$(6)$$

★となる。従って、抵抗 R_7 を流れる電流 I_1 は、P4点の電位を V_7 とすれば、

$$(7)$$

☆と表される一方、電流 I_1 の積分値でもあるから、

$$Q = \int I_1 dt$$

であり、これらにより V_4 が求められる。

$$(8)$$

$$V_4 = -\{1 / (C \cdot R_7)\} \cdot V_7 \cdot (1/s)$$

が得られる。ここではCが $2\mu F$ 、 R_7 が $500k\Omega$ であるからこの式は、

50

$$V_4 = -V_7/s$$

となる。

【0039】そして、オペアンプA2の+入力端子の電位V3については、

$$V_3 = (V_2 + V_4)/2$$

が得られる。V3は、イマジナリショートによりオペアンプA2の-入力端子電位V6と等電位なので、

$$V_3 = V_6$$

$$I_2 = V_6/R_5 = V_3/R_5$$

【0040】一方I2は、抵抗R6を流れる電流と等しいので、

$$I_2 = (V_7 - V_6)/R_6 = (V_7 - V_3)/R_6$$

であり、これに(11)式を代入して次式が得られる。★

$$V_7 = 20 \cdot V_3$$

となる。

【0041】次にP2点の電位V8については、

$$V_8 = (V_1 - V_7) \cdot \{R_8 / (R_8 + R_9)\} + V_7$$

$$V_8 = (V_1 + V_7)/2$$

そして、V8はイマジナリショートによりオペアンプA1の-入力端子電位V9と等しいので、

$$I_3 = V_9/R_{10} = V_8/R_{10}$$

である。

【0042】またI3は、抵抗R11を流れる電流と等しいので、

$$I_3 = (V_{10} - V_9)/R_{11} = (V_{10} - V_8)/R_{11}$$

$$V_{10} = 2 \cdot V_8$$

が得られる。

【0043】次に、(10)式と(12)式とより、

$$V_7 = 10 \cdot (V_2 + V_4)$$

$$V_7/V_1 = 9 / \{1 + (10/s)\}$$

となる。一方、(13)式、(15)式より、V8を消去すると、

$$V_{10} = V_1 + V_7$$

$$V_{10}/V_1 = (1 + s) / \{1 + (s/10)\}$$

となり、これは遅れ補償回路5の伝達関数、すなわちG(s)を示している。

$$\tau_1 = 1$$

$$\tau_2 = 1/10$$

であることがわかる。ここで(1)式に、(4)式、(5)式、(18)式、および(19)式を代入することにより(17)式が得られることから、(17)式が正しいことがわかる。

【0045】以上のようにして遅れ補償回路5は、流量制御回路25の出力の応答遅れを補償して電磁弁駆動回路26にフィードバックする。かかる遅れ補償回路5により $\tau_1 = 1.22 \text{ sec}$ の1次遅れ関数で応答遅れの補償がなされた出力を、図8中カーブbに示す。応答遅れの補償がされていない図8中カーブaに比して、格段に短い応答時間で、一定値に落ち着いていることが理解できる。このため、遅れ補償機能付流量制御弁1では、遅

$$* V_3 = (V_2 - V_4) \cdot \{R_4 / (R_3 + R_4)\} + V_4$$

と表され、前記のようにR3とR4とは等しいので、

※となり、この式より抵抗R5を流れる電流I2が求められる。

$$* V_7 = V_3 \cdot \{1 + (R_6/R_5)\}$$

前記のようにR6が19kΩ、R7が1kΩであるからこの式は、

☆であり、前記のようにR8とR9とが等しいので次式のように求められる。

$$* V_8 = V_9$$

◆20 である。よって、抵抗R10を流れる電流I3は、

$$* R_{11}$$

であり、これに(14)式を代入すると、

$$V_{10} = V_8 \cdot \{1 + (R_{11}/R_{10})\}$$

となり、前記のようにR10はR11と等しいので、

※が得られ、これと(6)式および(9)式よりV7とV1との関係式は、

★が得られる。そして、この式と(16)式とによりV7を消去すると、

☆【0044】したがって、(3)式と(17)式との対比により、

れ補償回路を有しない従来の流量制御弁と比較して、ガス供給開始時の立ち上がりが非常に速い。

【0046】従って、多種類のガスを使用する系に本実施例の遅れ補償機能付流量制御弁1を使用することにより、図9に示すように、ガス供給開始後短時間で流量値を立ち上げさせ、応答待ち時間を減少させることができる。図9では、1秒以内にすべてのガス流量値が所定値に達している。

【0047】なお、図8のカーブbにおいて、出力値が早期に所定の値に達した後(Q点)しばらくの間、出力値がわずかに低下しているが、これは1次遅れ関数では流量の実際の立ち上がりを完全には補正しきれないため

である。図11のグラフでこれを説明する。カーブfは遅れ補償機能付流量制御弁1のマスフローセンサ（流量計部2）からの実際の出力を示す。一方、カーブgは $\tau_1 = 1.22 \text{ sec}$ の1次遅れ関数を示す。立ち上がり直後ではカーブgとカーブfとはよく一致しているが、jの部分で差を生じている。これが図8のカーブbのQ点後の出力低下の原因である。

【0048】カーブfの収束部付近に近づけるように時定数をとると（ $\tau_1 = 1.76 \text{ sec}$ ：カーブh）、安定は速くなる。しかし、このときの補償した出力は図12のカーブmに示すようにオーバーシュート（n）してしまい好ましくない。尚、図12のカーブaは図8のカーブ

$$J(s) = \alpha / (1 + s * \tau_3) + \beta / (1 + s * \tau_4) \quad (21)$$

ここで α 、 β は各成分への配分比であり共に正である。また、 $\alpha + \beta = 1$ である。 τ_3 、 τ_4 は各成分における時定数である。

【0050】従って遅れ補償回路がこれを完全にキャンセルするためには、遅れ補償回路の伝達関数が、

$$J(s)^{-1} = \{(1 + s * \tau_3) * (1 + s * \tau_4)\} / \{1 + s * \tau_0\} \quad (22)$$

とする。ここで時定数 τ_0 は、 τ_3 、 τ_4 に比べて十分小さいものとする。

【0051】ここで、 $\alpha * \tau_4 + \beta * \tau_3 = \tau_0$ と置けば（21）式の $J(s)$ は次式のようにになる。

$$J(s) = (1 + s * \tau_0) / \{(1 + s * \tau_3) * (1 + s * \tau_4)\} \quad \star$$

$$K_1(s) = (1 + s * \tau_3) / (1 + s * \tau_0) \quad (23)$$

$$K_2(s) = (1 + s * \tau_4) / (1 + s * \tau_0) \quad (24)$$

とする。

【0052】次にこれをブロック線図化する。 $K_1(s)$ と $K_2(s)$ とは形式的には同じなので $K_1(s)$ について考察する。入力をX、出力をYとすれば、

$$Y = \{(1 + s * \tau_3) / (1 + s * \tau_0)\} * X$$

であり、これは次式のように変形される。

$$Y = [(X - Y) / s] + \tau_3 * X / \tau_0$$

これより、図14のブロック線図が得られる。 $K_2(s)$ についても同様なので入力をY（ $K_1(s)$ の出力）、出力をZとすれば、 $K(s)$ 全体のブロック線図は図15のようになる。これをアナログ回路として実現するには、例えば図16のようなものが考えられる。

【0053】この回路は、オペアンプA4を中心に構成された $K_1(s)$ 相当部分と、オペアンプA5を中心に構成された $K_2(s)$ 相当部分とを直列接続したものである。入力信号Xは、抵抗R12とコンデンサC3との並☆

$$X - V_{11} = I_4 * R_{12} \quad (25)$$

$$X - V_{11} = (1 / C_3) * \int I_5 dt \quad (26)$$

ここで、 I_4 は抵抗R12を流れる電流であり、 I_5 はコンデンサC3の導線に流れる電流である。（26）式◆

$$(X - V_{11}) = (1 / C_3) * I_5 * (1 / s) \quad (27)$$

となる。

＊ブaと同じものである。このことは、次に述べる第2実施例で解決されるものである。

【0049】次に、本発明の第2の実施例について説明する。第2の実施例は、前記第1実施例とほぼ同様の構成を有するものであるが、遅れ補償回路において1次並列遅れ関数で近似した補償を行うようにしたものである。そこで、この遅れ補償機能のみ説明することとする。まず1次並列遅れとは、入力信号が図13に示すように並列に2分されそれぞれ時定数の異なる1次遅れを受けこれらが合成されたものとして表される遅れである。1次並列遅れの伝達関数 $J(s)$ は次式で表される。

$$\star (\alpha * \tau_4 + \beta * \tau_3)$$

であればよいのだが完全なキャンセルは、完全微分が困難なためできない。そこで、遅れ補償回路の伝達関数を $K(s)$ とし、 $K(s)$ で $J(s)$ をキャンセルしたときに時定数の非常に小さい1次遅れ関数になるようにする。即ち、

★これを用いて（22）式の $K(s)$ を表すと、

$$K(s) = \{(1 + s * \tau_3) * (1 + s * \tau_4)\} / \{(1 + s * \tau_0) * (1 + s * \tau_0)\}$$

が得られる。便宜上、 $K(s) = K_1(s) * K_2(s)$ と考え、

☆列体を介してオペアンプA4の+入力端子に入力され

る。オペアンプA4の+入力端子は抵抗R13を介して接地されている。オペアンプA4では、出力端子と－入力端子とが抵抗R15を介して接続されており、また－入力端子は抵抗R14を介して接地されている。

【0054】そしてオペアンプA4の出力は、抵抗R16とコンデンサC4との並列体を介してオペアンプA5の+入力端子に入力される。オペアンプA5の+入力端子は抵抗R17を介して接地されている。オペアンプA5では、出力端子と－入力端子とが抵抗R19を介して接続されており、また－入力端子は抵抗R18を介して接地されている。そしてオペアンプA5の出力が、出力信号Zとなる。

【0055】この回路の、 $K_1(s)$ 相当部分の入出力信号の関係を求める。まず、オペアンプA4の+入力端子の電位 V_{11} について次の各式が成り立つ。

◆をラプラス演算子sを用いて書き直すと、

50 【0056】 I_4 と I_5 との合計が抵抗R13に流れる

電流 I_6 となり、

$$I_6 = V_{11}/R_{13}$$

が成り立つので、(25)式と(27)式とから次式が成り立つ。

$$V_{11} = (R_u/R_{12}) \cdot \{(1 + s \cdot C_3 \cdot R_{12}) / (1 + s \cdot C_3 \cdot R_u)\} \cdot X \quad (28)$$

ここで、

$$R_u = (R_{12} \cdot R_{13}) / (R_{12} + R_{13})$$

とした。

$$V_{12} = I_7 \cdot R_{14}$$

そして出力端子の電位 V_{13} については、次式の関係が成り立つ。

$$V_{13} = V_{12} + I_7 \cdot R_{15}$$

この式と(29)式とから、

$$V_{13} = \{(R_{14} + R_{15}) / R_{14}\} \cdot V_{12}$$

が導かれ、 V_{12} はイマジナリショートにより V_{11} に等しいので、

$$\begin{aligned} B &= \{(R_{14} + R_{15}) / R_{14}\} \cdot (R_u / R_{12}) \\ &= \{(R_{14} + R_{15}) / R_{14}\} \cdot \{R_{13} / (R_{12} + R_{13})\} \end{aligned}$$

とした。Bが1となる必要十分条件は、 R_{13} と R_{14} とが等しくかつ R_{12} と R_{15} とが等しいことであるの☆

$$V_{13} = \{(1 + s \cdot C_3 \cdot R_{12}) / (1 + s \cdot C_3 \cdot R_u)\} \cdot X \quad (30)$$

となる。

【0059】 $K_2(s)$ 相当部分についても同様の考察に◆

$$Z = \{(1 + s \cdot C_4 \cdot R_{16}) / (1 + s \cdot C_4 \cdot R_u)\} \cdot V_{13} \quad (31)$$

が得られる。ここで、

$$R_u = (R_{16} \cdot R_{17}) / (R_{16} + R_{17})$$

である。

【0060】(30)式、(31)式により、(23)

式の τ_1 、 τ_2 、(24)式の τ_3 、 τ_4 が次のように求まる。

$$\tau_1 = C_3 \cdot R_{12}$$

$$\tau_2 = C_4 \cdot R_{16}$$

$$\tau_3 = C_3 \cdot R_u$$

$$\tau_4 = C_4 \cdot R_u$$

これらを満たすように各素子を選択して回路を組むことにより、1次の並列遅れの補償回路が実現される。

【0061】ここで、 $\alpha = 0.06$ 、 $\beta = 0.94$ 、 $\tau_1 = 7.8 \text{ sec}$ 、 $\tau_2 = 1.1 \text{ sec}$ 、 $\tau_3 = 0.01 \text{ sec}$ 、 $\tau_4 = \alpha \cdot \tau_1 + \beta \cdot \tau_2 = 7.398 \text{ sec}$ 、となるように回路を作成し、遅れ補償を行った結果を図18及び図19に示す。図19は図18の時間軸を拡大したものである。補償後の出力は立ち上がりも素早く、かつ、立ち上がり後の出力の低下も見られない。これは、図17のグラフに示すように、マスフローセンサの実際の出力値(実線)と1次の並列遅れの波形(破線)とが非常によく一致しているからである。従って、これをガス使用装置に適用することにより、ガス供給開始後短時間で流量を立ち上げかつ安定させることができる。

【0062】以上詳細に説明したように本実施例の遅れ

$$* V_{11} / R_{13} = (X - V_{11}) / R_{12} + s \cdot C_3 \cdot (X - V_{11})$$

これより、 V_{11} が求められる。

*

※【0057】一方、オペアンプA4の-入力端子の電位 V_{12} は、抵抗 R_{14} 及び R_{15} に流れる電流を I_7 として次式で表される。

$$(29)$$

★ $V_{13} = \{(R_{14} + R_{15}) / R_{14}\} \cdot V_{11}$ が得られる。

【0058】これに(28)式を代入すれば次式のようになる。

$$V_{13} = B \cdot \{(1 + s \cdot C_3 \cdot R_{12}) / (1 + s \cdot C_3 \cdot R_u)\} \cdot X$$

★

ここで、

◆より、抵抗 R_{17} と R_{18} 、 R_{16} と R_{19} 、をそれぞれ等しくなるように回路を組めば、

補償機能付流量制御弁1では、ガス供給開始時に遅れ補償回路5が流量計部2の出力の応答遅れを補償して電磁弁部3にフィードバックするので、ガス供給開始後短時間で流量が安定する。このため、ガス供給開始直後における安定待ち時間の無駄なガス流出を大幅に減少することができる。これにより、生産性を向上し、ガス排気系への負担も軽減することができる。特に、ガス供給開始動作の頻度が高い、枚葉式処理を行うプロセス装置へのガス供給系に適用すると効果が大きい。

【0063】なお、前記各実施例は本発明を何ら限定するものでなく、その要旨を逸脱しない範囲内において、種々の変形、改良が可能であることは勿論である。例えば、図1に示す遅れ補償機能付き流量制御弁1では、流量制御回路25と遅れ補償回路5を別々の回路としているが、これらを一体に組んだ回路としてもよい。また、前記第2実施例では2種類の1次遅れ関数を並列させたが、3種類以上の1次遅れ関数を並列させてもよい。

【0064】また、前記各実施例では、遅れ補償回路5としてオペアンプにより組んだアナログ回路を使用しているが、流量制御弁にマイコン等を組み込んだ場合には、そのマイコンのソフトに同様の遅れ補償機能を包含させ、アナログ回路に替えることができる。更に、前記各実施例では、流量の調整を行う部分を電磁弁により構成したが、電磁弁以外のものにより構成してもよい。また、流量計部を感熱コイルにより構成したが、他の手段

*を示すグラフである。

【図 9】本発明の遅れ補償機能付流量制御弁により多種類のガスを使用する系でのガス流量の経時変化を示すグラフである。

【図 10】従来の流量制御弁により多種類のガスを使用する系でのガス流量の経時変化を示すグラフである。

【図 11】マスフローセンサの出力に対する 1 次遅れ関数による補償を説明するグラフである。

【図 12】1 次遅れ関数で早期に安定するように次定数をとった場合のオーバーシュートを説明するグラフである。

【図 13】1 次並列遅れによる補償を説明する概念図である。

【図 14】1 次並列遅れの補償回路の全段部分を示すブロック線図である。

【図 15】1 次並列遅れの補償回路を示すブロック線図である。

【図 16】1 次並列遅れの補償回路を実現したアナログ回路である。

20 【図17】1次並列遅れの補償回路による遅れ補償の結果を示すグラフである。

【図 18】1次並列遅れの補償回路による遅れ補償の結果を示すグラフである。

【図 19】1 次並列遅れの補償回路による遅れ補償の結果を示すグラフである。

【図20】従来のガス供給システムを示す概念図である。

【図 2 1】従来のガス供給システムでのガスの実流量のオーバーシュートを示すグラフである。

【符号の説明】

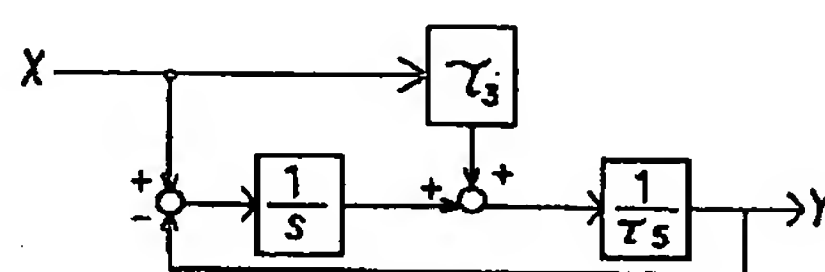
1 流量制御弁

2 流量計部

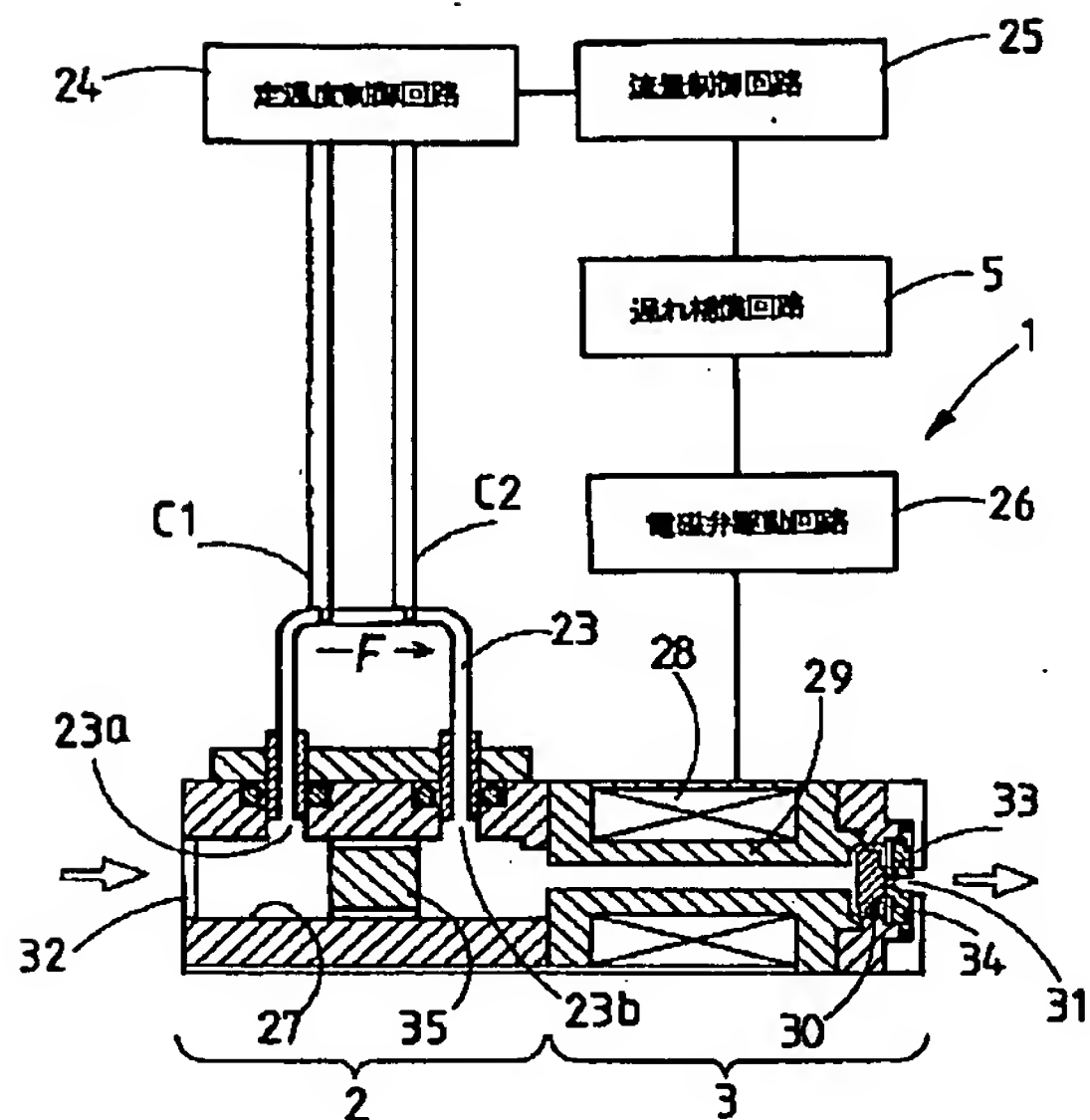
3 電磁弁部

5 遅れ補償回路

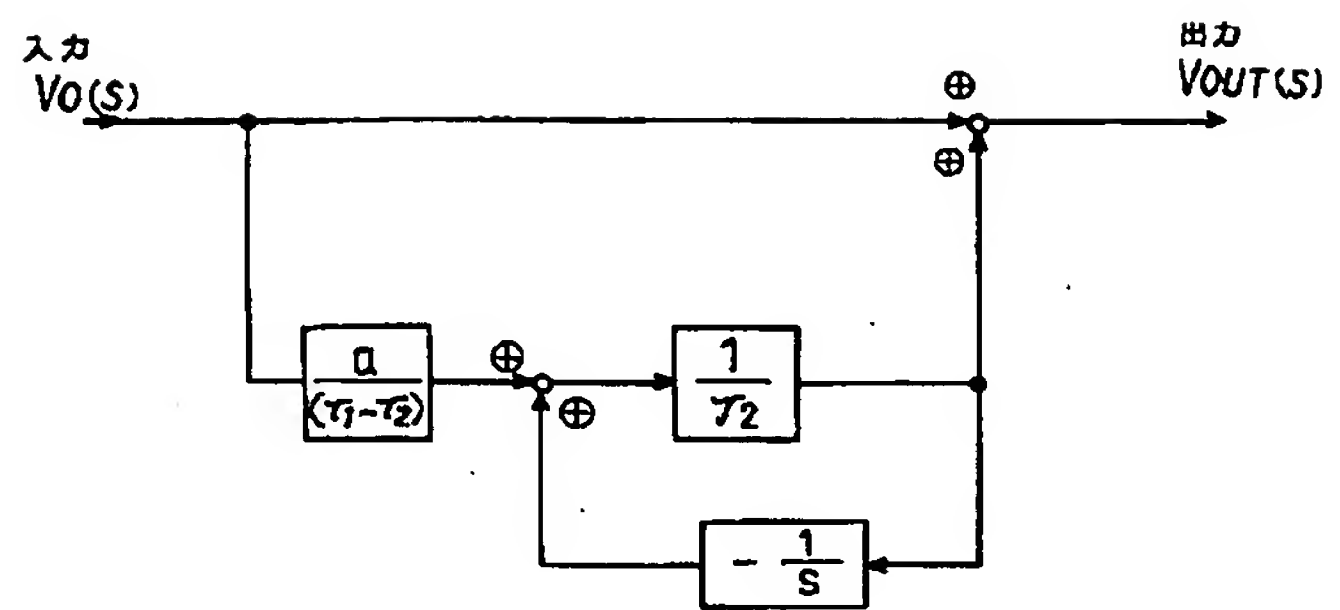
【圖 14】



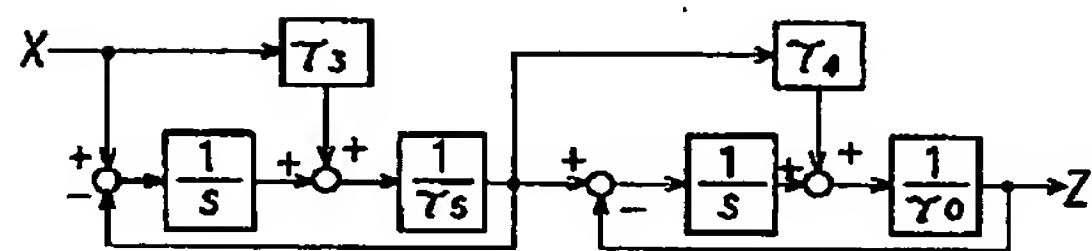
【図1】



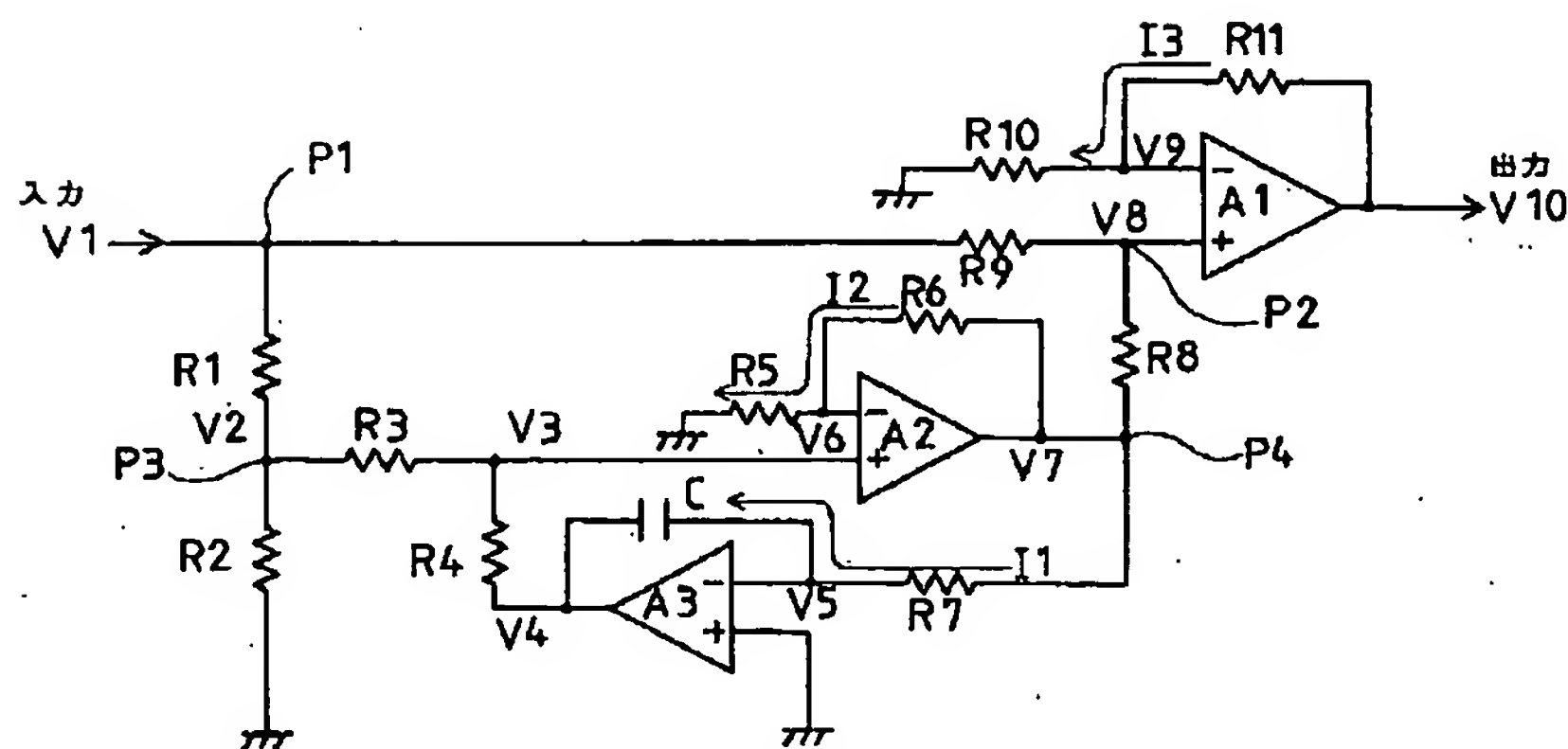
【図4】



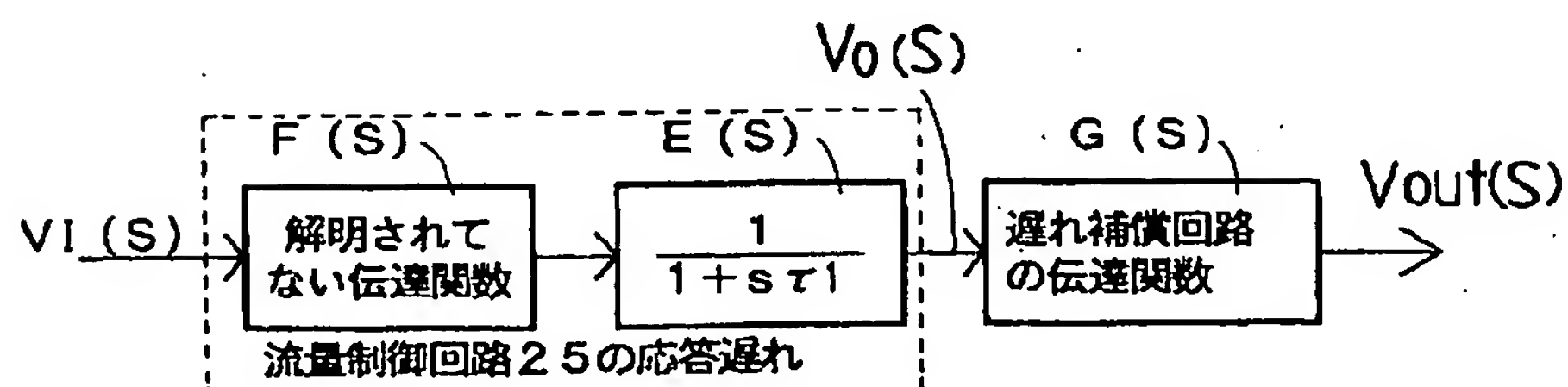
【図15】



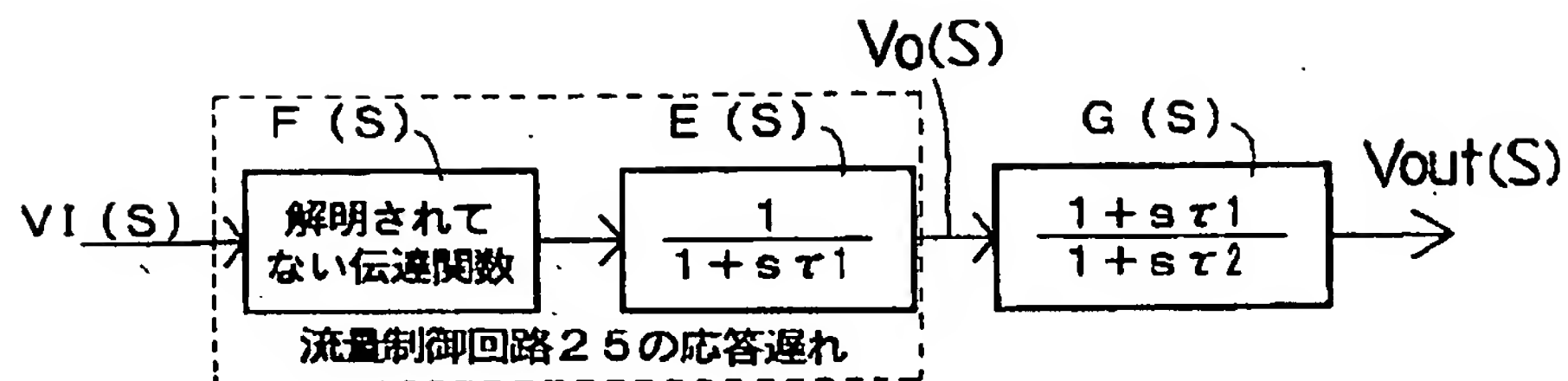
【図3】



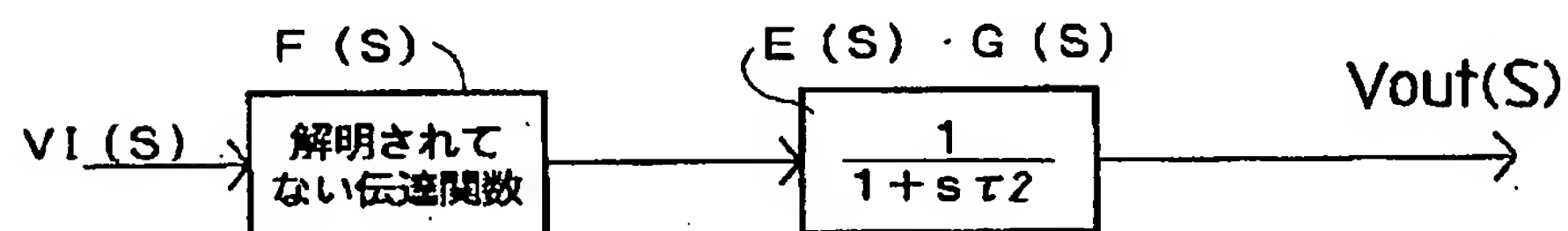
【図5】



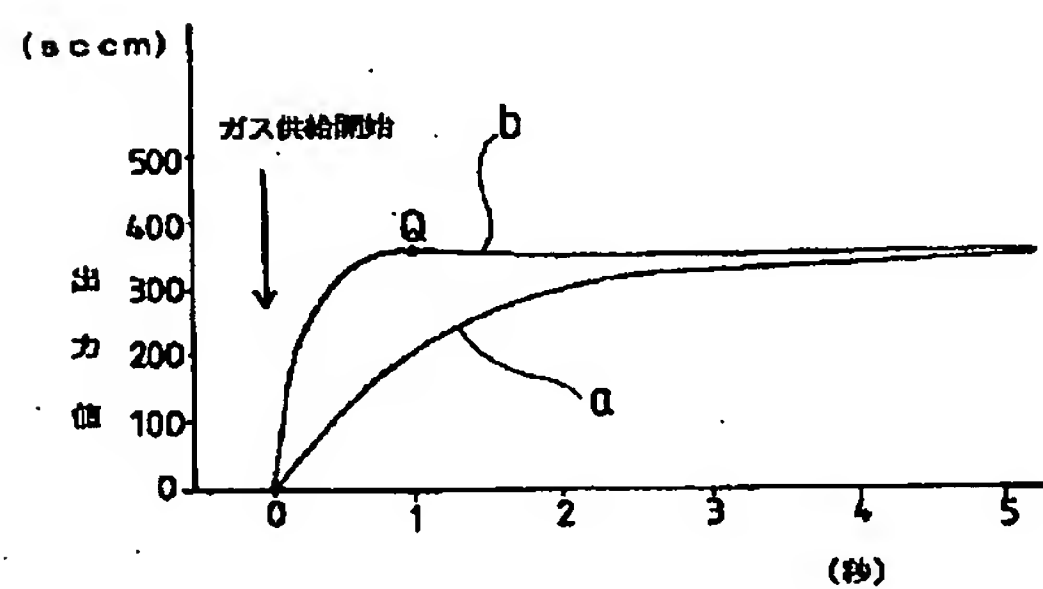
【図6】



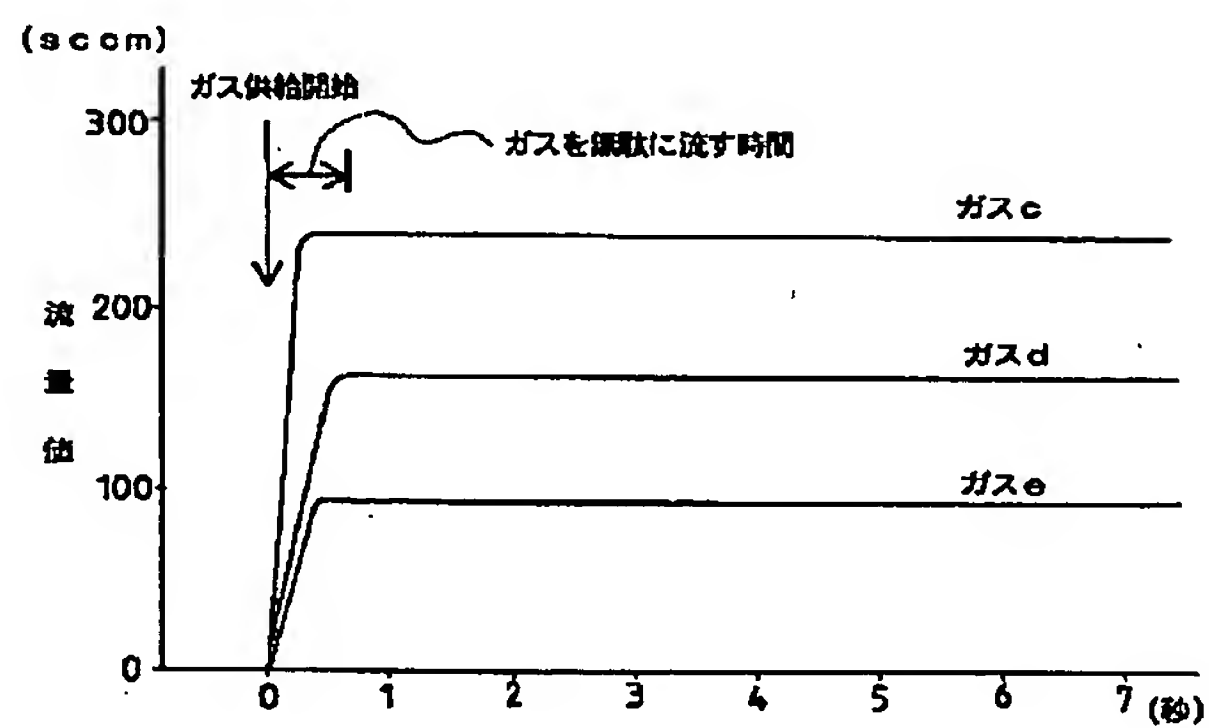
【図7】



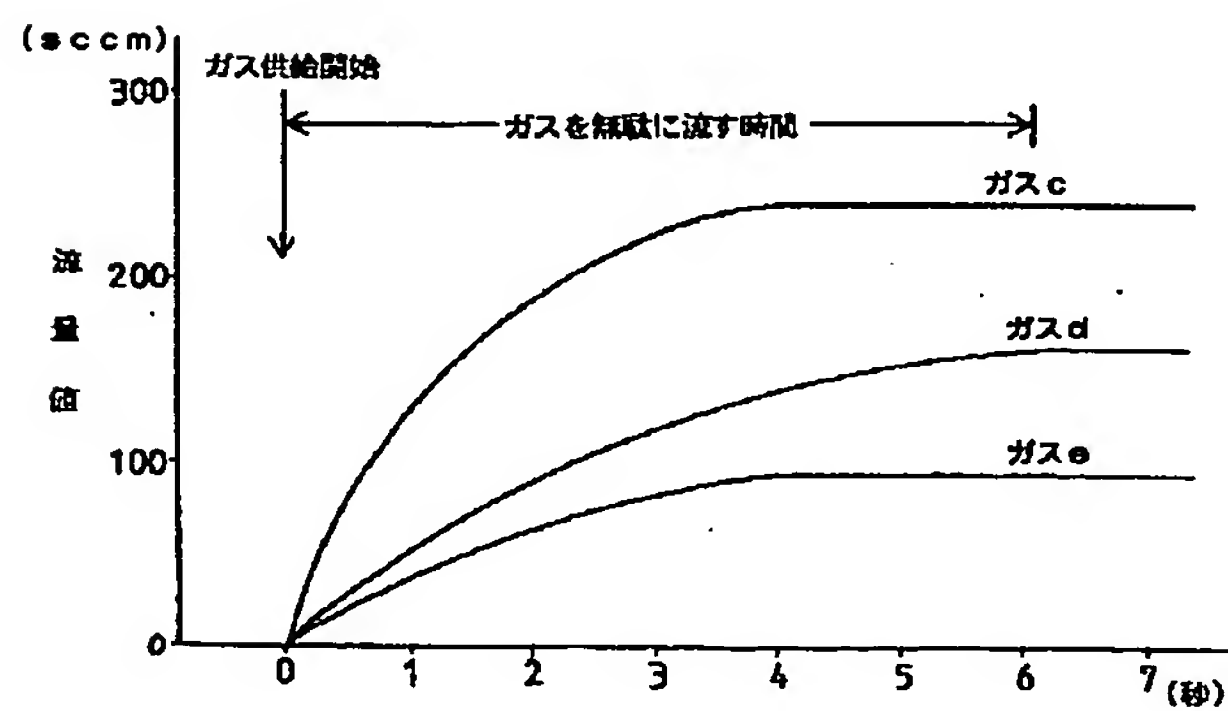
【図8】



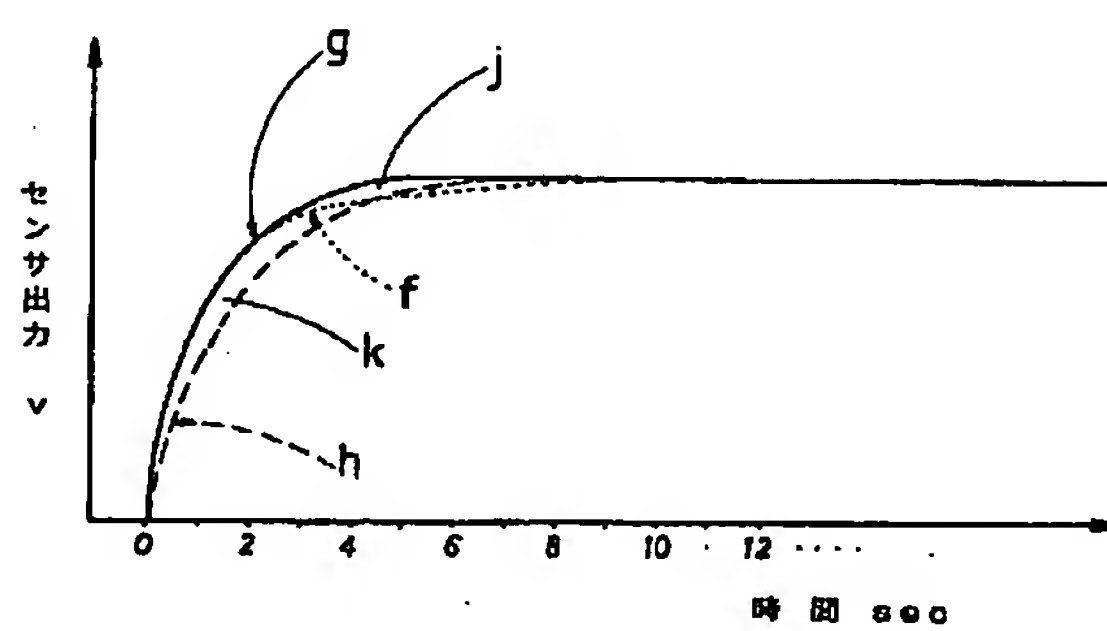
【図9】



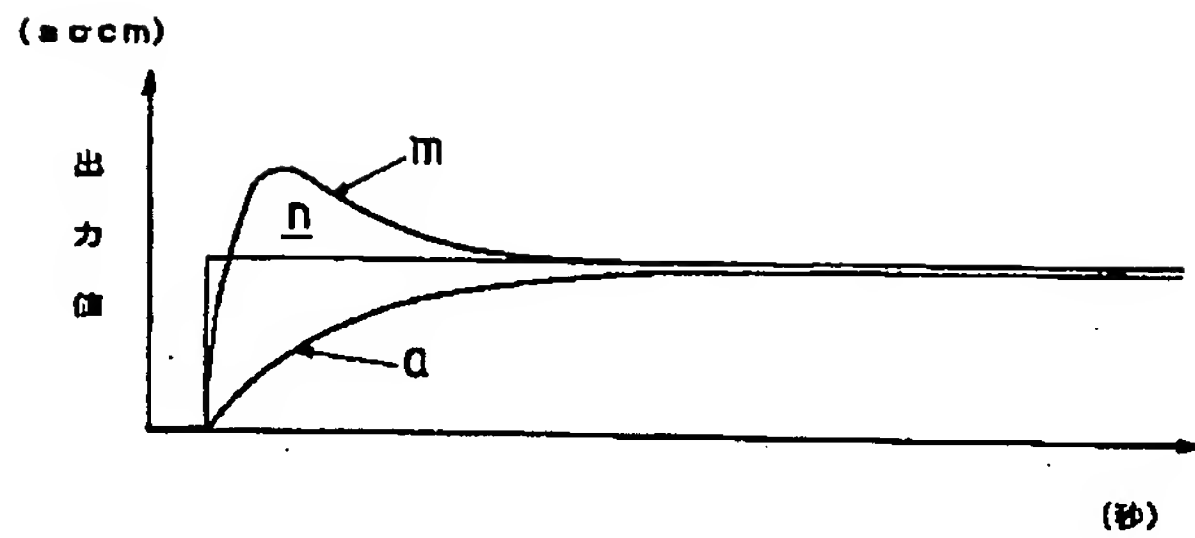
【図10】



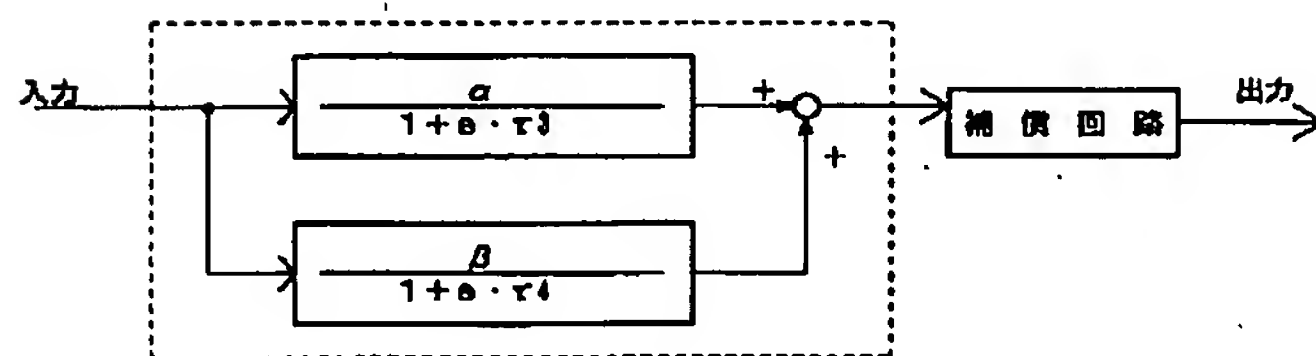
【図11】



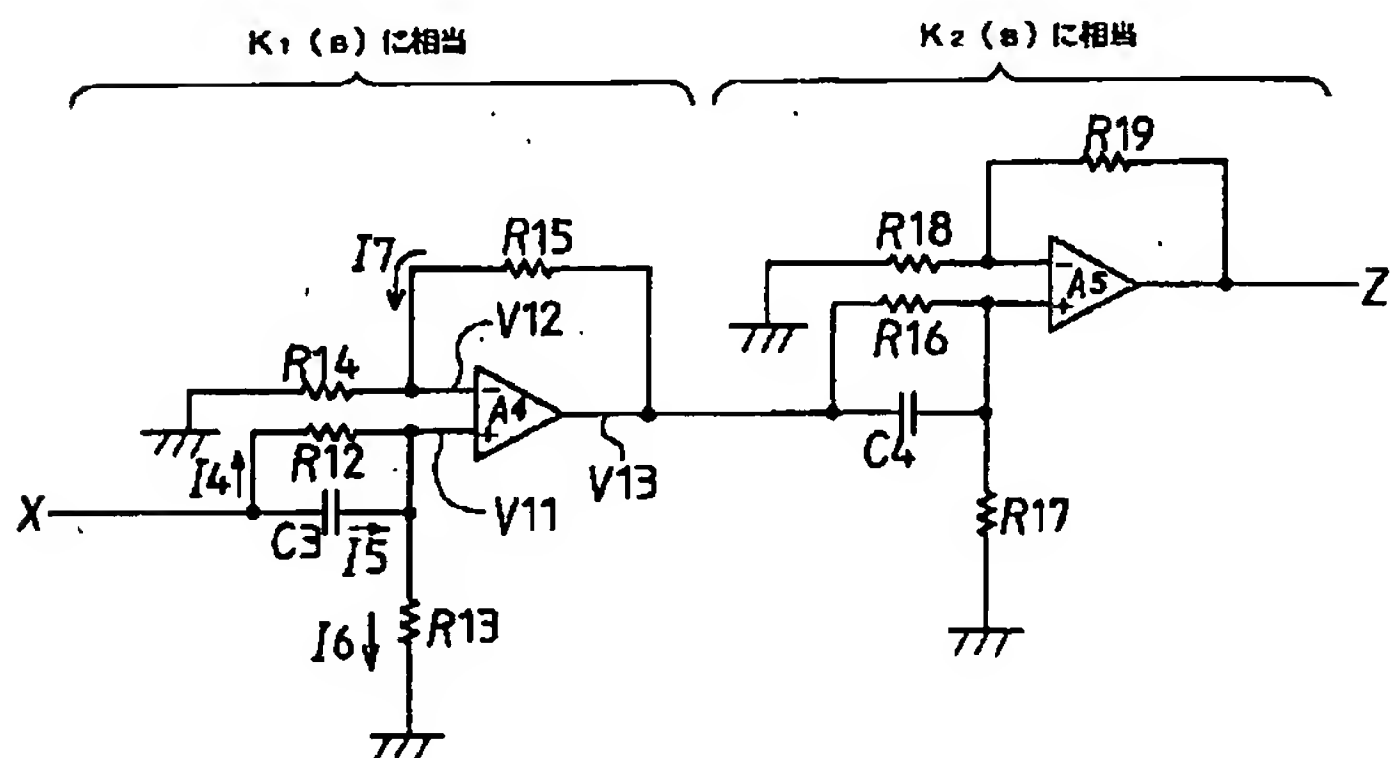
【図12】



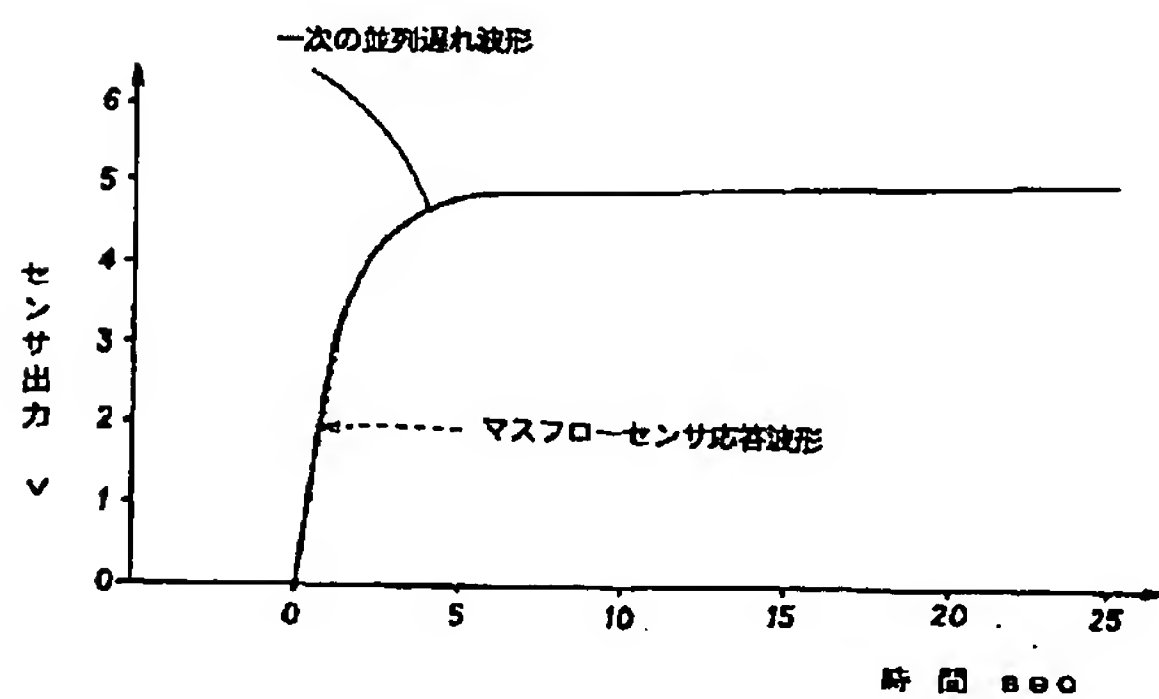
【図13】



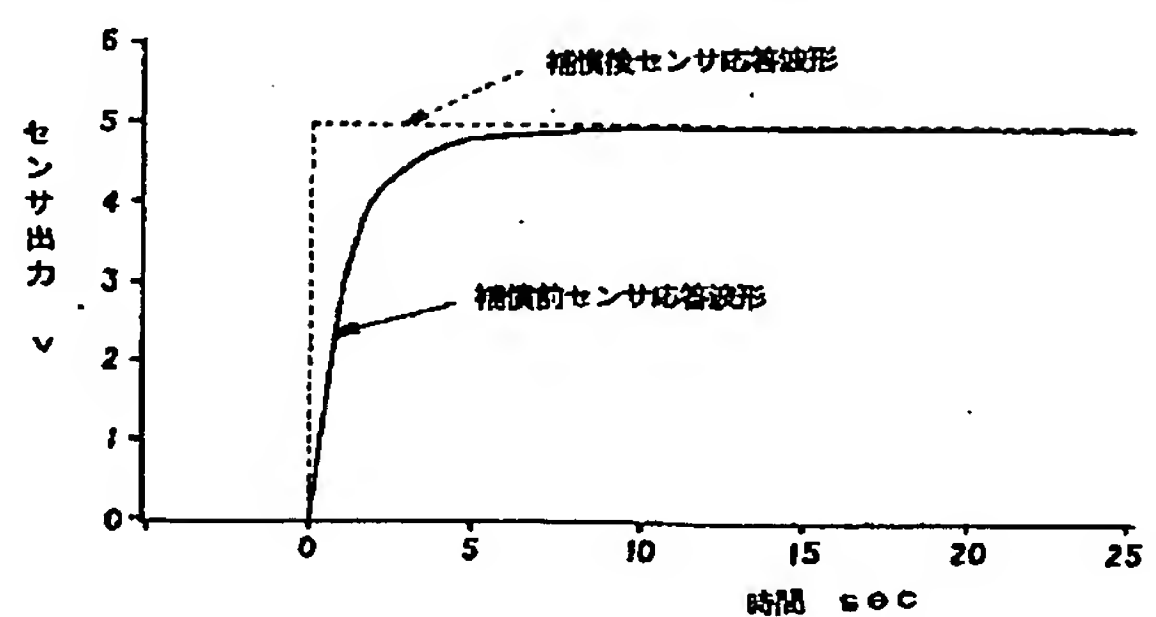
【図16】



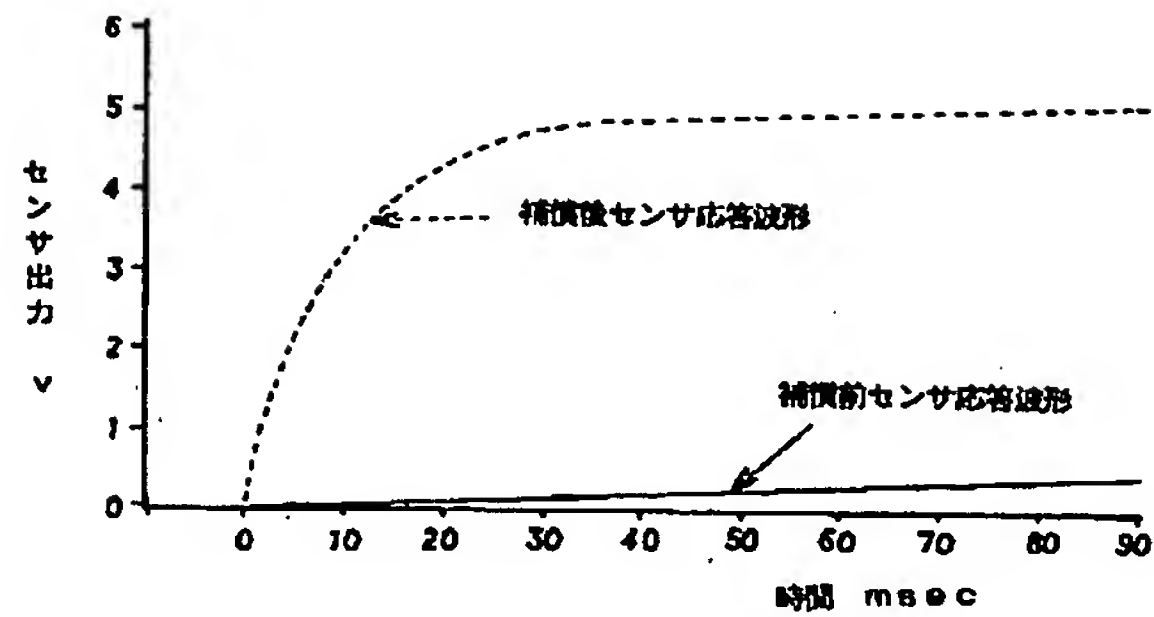
【図17】



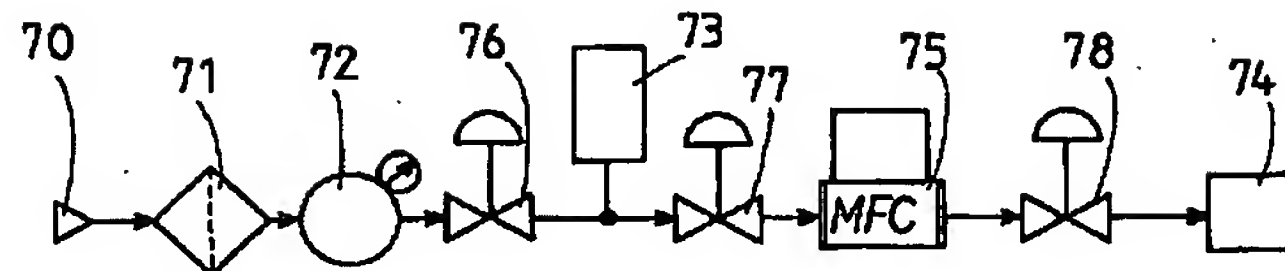
【図18】



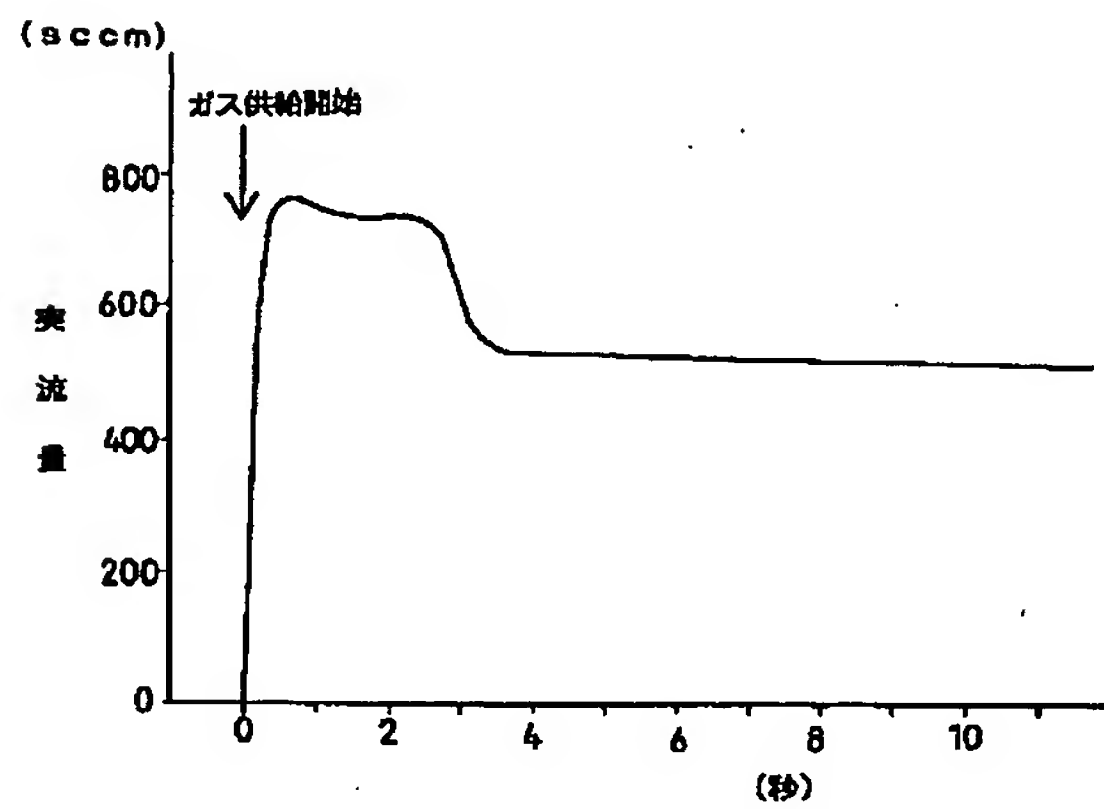
【図19】



【図20】



【図21】



フロントページの続き

(72)発明者 瀬瀬 雅之
愛知県小牧市大字北外山字早崎3005 シー
ケーディ株式会社内

(72)発明者 新田 慎一
愛知県小牧市大字北外山字早崎3005 シー
ケーディ株式会社内